

University of Groningen

## Electron Holography of Nanoparticles

Keimpema, Koenraad

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

2008

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Keimpema, K. (2008). *Electron Holography of Nanoparticles*. s.n.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

# Samenvatting

Dit proefschrift behandelt een aantal aspecten van de elektronen holografie. Dit is een techniek binnen de elektronen microscopie. Bij conventionele microscopie wordt tijdens het beeldvormingsproces slechts de intensiteit van de objectgolf vastgelegd, de fase informatie gaat verloren. Holografie heeft als doel deze fase vast te leggen zodat alle informatie uit de oorspronkelijke golf gemeten wordt. Elektronen holografie werd in de jaren 40 ontwikkeld door de Hongaars-Engelse natuurkundige Dennis Gabor. Het doel van Gabor was om een methode te ontwikkelen waarmee de resolutie van de elektronen microscoop vergroot kon worden. Het idee van Gabor, volgens de overlevering tijdens een partij tennis ontstaan, was om de objectgolf te laten interfereren met een voor de experimentator bekende achtergrondgolf. Hierdoor ontstaat een interferentie patroon dat door een mens niet meer rechtstreeks te interpreteren maar wel de fase informatie van de oorspronkelijke elektronengolf bevat. Dit interferentie patroon noemde Gabor een hologram naar de Griekse woorden holos (geheel) en gram (bericht) om aan te geven dat het hologram alle informatie uit de oorspronkelijke golf bevat.

Bij Gabor's oorspronkelijke methode gaan zowel object- als referentiegolf door het materiaal. In de praktijk wordt een opstelling gebruikt waarbij de object- en referentiegolf gescheiden van elkaar bewegen. De opstelling is als volgt: Het materiaal wordt half in de elektronenbundel geplaatst, zodat de oorspronkelijke bundel effectief in twee delen gesplitst wordt. Een deel dat geïnterageerd heeft met het materiaal (objectgolf) en een deel dat slechts door vacuüm bewogen heeft (referentiegolf). De twee golven worden vervolgens met een elektronbiprisma weer samengevoegd zodat er een interferentie patroon ontstaat. Het elektronbiprisma is een dunne draad ( $\pm 1\mu\text{m}$  dikte) met daarover een voltage, zie ook Fig. 1.7.

Bij het grote publiek is holografie het meest bekend door de drie dimensionale hologrammen die bijvoorbeeld op veel creditcards te vinden is. De belang-

rijkste toepassing van elektronen holografie is het bestuderen van de elektrische en magnetische eigenschappen van materialen. Het elektromagnetische potentiaal binnen het materiaal veroorzaakt een fase verschuiving binnen de elektronen bundel. Het meten van de faseverschuiving geeft dus rechtstreekse informatie over de elektrische en magnetische eigenschappen van het materiaal. Voor Gabor's oorspronkelijke doel, het vergroten van de resolutie van de elektronen microscoop, is holografie met succes toegepast maar wordt het in praktijk weinig gebruikt.

De fase informatie verkregen uit een hologram is niet rechtstreeks te interpreteren door een mens. Om toch een hologram te kunnen interpreteren zal een experimentator voor een breed scala aan (magnetische) structuren kennis moeten hebben van het fase patroon die het veroorzaakt. Daartoe zijn tijdens het promotieonderzoek numerieke methoden ontwikkeld om voor een gegeven materiaal het bijbehorende hologram te berekenen. Deze methoden zijn daarna toegepast op een aantal veel voorkomende magnetische structuren. Een iteratieve methode om een hologram te interpreteren is : Construeer een model van het materiaal en bereken met numerieke methoden het bijbehorende hologram. Vergelijk het resultaat met de experimentele data en pas het model daaraan aan.

De bovenstaande methode is een voorbeeld van het directe probleem: gegeven een magnetisatie distributie bepaal het bijbehorende hologram. Veel belangrijker nog is het inverse probleem: gegeven een fase distributie wat is de magnetisatie distributie. Gezien de tijdrovendheid van de iteratieve methode zou het de praktische toepasbaarheid van elektronen holografie sterk vergroten wanneer het inverse probleem opgelost zou worden. In het proefschrift worden een aantal methoden geëvalueerd om dit probleem op te lossen. In de meeste gevallen zijn deze methoden in staat kwalitatieve informatie over de magnetische structuur te geven en zijn daarom behulpzaam bij het interpreteren van een hologram. Echter een definitieve oplossing waarmee kwantitatief de magnetisatie distributie verkregen wordt blijft een open probleem. Tenslotte zijn er experimenten uitgevoerd op ferromagnetische films en kobalt clusters die met de in het promotieonderzoek ontwikkelde methoden werden geanalyseerd.

Het proefschrift is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 1 wordt een historische introductie gegeven over de geschiedenis van de elektronen holografie en zijn toepassingen. Verder worden de verschillende vormen van holografie beschreven. In het hoofdstuk

wordt ook speciale aandacht gegeven aan het experiment van Tonomura et al. [30] die voor het eerst het dubbelspleet experiment met elektronen uitvoerde op zo'n manier dat het ontstaan van het interferentiepatroon punt voor punt gevolgd kan worden.

- In hoofdstuk 2 wordt de theorie van het ontstaan van de fase verschuivingen door magnetische of elektrisch gepolariseerde materialen beschreven. Verder worden er numerieke methoden beschreven om voor een gegeven materiaal de fase verschuivingen te berekenen. Tevens wordt de efficiëntie van de methoden geëvalueerd.
- In hoofdstuk 3 wordt de praktische experimentele toepassing van de elektronen holografie beschreven. In het bijzonder wordt ingegaan op holografie met de Jeol 2010F, de microscoop die voor dit proefschrift gebruikt is. Dit alles wordt geïllustreerd door een aantal experimenten welke volgens de methoden uit de overige hoofdstukken geanalyseerd wordt.
- In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op het inverse probleem. In hoofdstuk 2 is beschreven hoe uit een gegeven magnetisatie distributie de fase verschuiving berekend kan worden. In dit hoofdstuk worden methoden beschreven om uit een gegeven fase verschuiving de magnetisatie distributie te verkrijgen.
- In hoofdstuk 5 worden de fase verschuivingen door een aantal veel voorkomende domein structuren beschreven, zowel met simulaties als met experiment.

